

Evapotranspiración en Cuba con imágenes satelitales MODIS 16 y Google Earth Engine

Evapotranspiration in Cuba with Satellite Images MODIS 16 and Google Earth Engine



<https://cu-id.com/2177/v32n4e02>

[✉]Alberto Méndez Jocik^{I*}, [✉]Pável Vargas Rodríguez^{II}, [✉]Felicita González Robaina^{III}

^IMinisterio de la Agricultura, Empresa Nacional de Proyectos e Ingeniería, Municipio Plaza, La Habana, Cuba.

^{II}Universidad de Oriente, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Santiago de Cuba, Cuba.

^{III}Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN: Se presentan los resultados de imágenes satelitales de evapotranspiración de Cuba, agrupadas en series promedios de 8 días del periodo seco de noviembre a abril y del periodo húmedo de mayo a octubre de los años 2018 al 2022. MOD16A2 versión 6.1 de evapotranspiración (ET) que se encuentra dentro del catálogo de datos públicos y de uso gratuito del Google Earth Engine orientado a monitorear los avances de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 y mejorar las limitaciones de la implementación servicios de asesoramiento al regante, estableciendo mecanismos de diálogo permanente entre los agricultores para que estos puedan tomar mejores decisiones respecto a la gestión de riego de sus cultivos.

Palabras claves: teledetección espacial, servicios de asesoramiento, riego, período húmedo y seco.

ABSTRACT: The results of satellite images of evapotranspiration in Cuba are presented, grouped into series of 8-day averages of the dry period from November to April and the wet period from May to October from 2018 to 2022. MOD16A2 Version 6.1 of evapotranspiration (ET) is found within the catalog of public data and free use of the Google Earth Engine aimed at monitoring the progress of the 2030 Agenda for Sustainable Development and improving the limitations of the implementation of advisory services to the irrigator, while establishing mechanisms of permanent dialogue between the farmers so that they can make better decisions regarding the irrigation management of their crops.

Keywords: Remote Sensing, Irrigation Advisory Services, Irrigator, Wet and Dry Period.

INTRODUCCIÓN

En Cuba con la implementación de las nuevas normas jurídicas que regulan el régimen de propiedad, posesión y uso de las tierras agropecuarias y forestales por los actores económicos y la introducción de aspectos referidos a los indicadores de sostenibilidad sobre el uso y manejo de los recursos hídricos, es imperante un cambio de los conceptos de la aplicación del riego basado en el conocimiento empírico ([Funes-Monzote, 2001](#); [Pavó-Acosta y Hechavarría-Rivera, 2023](#); [Sierra, 2023](#)).

Se necesita proporcionar a los agricultores información técnica para lograr un manejo más eficiente del agua y un aumento del rendimiento de los cultivos.

En este sentido cuantificar la evapotranspiración (ET) como la variable fundamental de déficit en la

ecuación de balance hídrico es un proceso complejo que vincula los ciclos globales de agua, carbono y energía ([Brust et al., 2020](#); [2021](#)).

Debido a que la ET depende de las características de la superficie terrestre, como el tipo de vegetación y la humedad del suelo, la energía térmica disponible de la luz solar y las condiciones climáticas atmosféricas; no es posible medirla directamente.

Las observaciones de teledetección proporcionan varios de los parámetros terrestres y atmosféricos útiles para estimar la ET. Se han desarrollado metodologías utilizando observaciones satelitales para estimar la ET durante las últimas dos décadas. ([Frackiewicz, 2023](#)). Estos productos ET se utilizan para una variedad de aplicaciones, desde la escala agrícola hasta la escala de cuencas hidrográficas.

*Author for correspondence: Alberto Méndez-Jocik, e-mail: joc4263@gmail.com

Recibido: 14/02/2023

Aceptado: 01/09/2023

Experiencias internacionales relevantes proponen uso de satélites para monitorear los avances de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 ([Banco Mundial, 2017](#)).

La Meta 6.4 centrada en el uso eficiente del agua (6.4.1) y escasez de agua (6.4.2) han utilizado la evapotranspiración para la medición de estos indicadores usando una gama de datos de teledetección que están disponibles gratuitamente, como MODIS, Landsat, Proba-V y Sentinel-2 ([CEPAL, 2021](#)). Esto constituye una oportunidad para países en vías de desarrollo de suplir la disponibilidad de información geoespacial y posibilidades de procesamiento para los servicios de asesoramiento al regante (SAR).

[Cisneros et al. \(2004\)](#) señalaba que Cuba aspira a prestar este servicio adaptado a las condiciones locales, en los aspectos concernientes a la programación de los riegos, optimización del diseño, la divulgación de información, la capacitación de técnicos y regantes, así como otros servicios que son ahora interrogantes, que deben ser despejados por investigaciones futuras que posibiliten su implementación.

Ha pasado ya 18 años y no ha sido posible la implementación total de este servicio, porque la tarea del SAR es costosa y requiere de recursos humanos y materiales por la necesidad de un seguimiento intensivo en el campo en áreas extensas.

Las tecnologías de observación de la Tierra mediante sensores a bordo de satélites, proporcionan imágenes a intervalos regulares, que permiten hacer efectivo ese seguimiento ([Obasi, 2003](#); [Akiyama et al., 2022](#)). Por otra parte, las tecnologías de la información posibilitan que la información generada por el SAR llegue al usuario de forma rápida, fluida y personalizada. La introducción de estas tecnologías, disponibles en la Internet y telefonía móvil, puede generar valor añadido al introducir oportunidades de empleo en entornos rurales ([Cisneros et al., 2007](#)).

El objetivo de este trabajo va encamado a la determinación de la ET e introducir soluciones innovadoras simplificadas a los SAR para monitorear la situación hídrica de los cultivos y responder dos preguntas básicas de la programación del riego: ¿cuándo y cuánto regar? mediante el procesamiento de grandes volúmenes de información de datos en la nube, software libre, open data, big data e interfaz de programación de aplicaciones (API) orientadas a mejorar las limitaciones de la implementación y establecer mecanismos de diálogo permanente entre los agricultores para que estos puedan tomar mejores decisiones respecto a la gestión de regadío de sus cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se procesaron imágenes satelitales de MOD16A2 versión 6.1 de evapotranspiración (ET),

promedios de 8 días del periodo seco de noviembre a abril y del periodo húmedo de mayo a octubre de los años 2018 al 2022.

La información geoespacial se encuentra dentro del catálogo de datos públicos y de uso gratuito del Google Earth Engine.

MODIS 16. Evapotranspiración

MODIS es un espectrorradiómetro de imágenes de moderada resolución a bordo de la plataforma Satelital TERRA, AQUA de la NASA de dominio público disponible en Internet para los estudios del cambio climático global, la observación de los impactos ambientales y cambios en la biodiversidad ([Tavana et al., 2023](#)).

El algoritmo MOD16A2 versión 6.1 de evapotranspiración/flujo de calor latente, utilizado para la recopilación de productos de datos MOD16 se basa en la lógica de la ecuación de Penman-Monteith, que incluye entradas de datos de reanálisis meteorológico diario de conjunto con productos de datos de detección remota del espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS), como la dinámica de las propiedades de la vegetación, el albedo, y cobertura del suelo ([Modis, 2023a](#)).

El proceso de validación realizado contra 46 Torres de Flujo de covarianza de remolinos (Eddy covariance flux towers) y estaciones meteorológicas en 232 cuencas hidrográficas en los años 2000 al 2010 indican sesgos diarios promedio de $-0,11 \text{ kg/m}^2/\text{día}$ y $-0,02 \text{ kg/m}^2/\text{día}$ contra datos meteorológicos. Con errores absolutos medios (MAE) de $0,33 \text{ kg/m}^2/\text{día}$ (24,6%) y $0,31 \text{ kg/m}^2/\text{día}$ (24,1 %) respectivamente, indicando que la precisión de las observaciones está en el rango de 10-30% ([Modis, 2023b](#)).

Procesamiento con Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma de computación en la nube vinculada con un motor informático para uso de código abierto, diseñada para almacenar y procesar enormes conjuntos de datos (a escala de petabytes) para detectar cambios, análisis, mapear tendencias y cuantificar diferencias en la superficie de la Tierra para la toma de decisiones ([GEE, 2023](#)).

GEE utiliza técnicas para promediar la ET y otros datos espaciales en límites predefinidos (como, estados, condados, cuencas hidrográficas, distritos de riego, límites de campos agrícolas). Los promedios espaciales se almacenan en una gran geodatabase que está conectada a una API y a un software de teselas vectoriales y ráster de código abierto. Este marco admite una respuesta rápida a consultas de datos, así como visualizaciones espaciales y temporales de ET y variables asociadas (p. ej., NDVI, ET de referencia, fracción de ET de referencia) a través de una

aplicación de visualización de datos y mapeo en una web liviana (GEE, 2023).

Para el procesamiento se utilizó el Editor de código basado en web para escribir y ejecutar scripts (Figura 1).

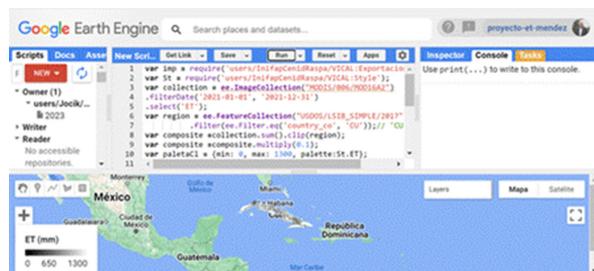


FIGURA 1. Editor de códigos de GEE.

Se utilizó una API desarrollada en JavaScript según Jiménez (2022) la cual fue modificada para las condiciones de Cuba, en la Figura 2 se muestran los resultados.

```
var imp = require('users/InifapCenidRaspa/VICAL:Exportaciones');
var St = require('users/InifapCenidRaspa/VICAL:Style');
var collection = ee.ImageCollection("MODIS/006/MOD16A2")
    .filterDate('2018-05-01', '2022-10-31').select('ET');
var region = ee.FeatureCollection("USDOS/LSIB_SIMPLE/2017")
    .filter(ee.Filter.eq('country_co', 'CU')); // 'CU' de Cuba
var composite = collection.mean().clip(region);
var paletaCl = {min: 0, max: 25, palette: St.ETO};
var panL = imp.Leyenda('ETHumedo (mm)', paletaCl);
Map.centerObject(region); // centrar a la region
Map.addLayer(composite, paletaCl, 'mean_ET'); Map.add(panL); // leyenda
Export.image.toDrive({ image: composite,
    description: 'ET_Export', folder: 'ETHumedo',
    fileNamePrefix: 'ETHumedo', scale: 500, maxPixels: 1e10});
```

FIGURA 2. API en JavaScript para estimar la ET para las condiciones de Cuba.

Los resultados lo constituyen imágenes de Evapotranspiración para los periodos solicitados, en la Figura 3 se muestran en la nube.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los mayores riesgos para la seguridad alimentaria están dados por la alternancia de períodos de secos (en que las precipitaciones son insuficientes para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos) con otros lluviosos (donde se produce sobre humedecimiento e inundación) (IPF-PMA, Cuba, 2001). Por esto, la capacidad de respuesta involucra directamente al riego y al drenaje

En las Figuras 4 y 5 se presentan los resultados del procesamiento de evapotranspiración (ET), (en DN. Número digitales de imagen 0-255) con promedios de 8 días del periodo seco de noviembre a abril y del periodo húmedo de mayo a octubre de los años 2018 al 2022.

En Cuba se reportan pocos trabajos de cartografía de la evapotranspiración mediante técnicas de teledetección espacial, Méndez (2011) desarrolló de

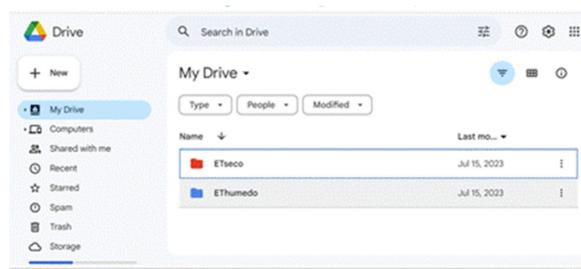


FIGURA 3. Resultado del procesamiento en Google Drive.



FIGURA 4. Evapotranspiración (ET) promedio cada 8 días del periodo húmedo de mayo a octubre de los años 2018 al 2022.



FIGURA 5. Evapotranspiración (ET) promedio cada 8 días del periodo seco de noviembre a abril de los años 2018 al 2022.

un modelo geográfico mediante la utilización directa de la ecuación FAO-PM y técnicas de teledetección espacial ajustado por medio redes neuronales artificiales, de un comportamiento espacialmente exhaustivo con un 86% de precisión, y error relativo de un 14% para resoluciones espaciales de 1000 m y temporales de 10 días.

Los resultados presentados con resoluciones espaciales de 500 m y temporales de 8 días pueden considerarse un avance según reporta la literatura Modis (2023b) al alcanzar precisiones entre un 70 -90% y errores absolutos medios 24,1%. - 24,6%.

Otros autores cubanos han utilizado diferentes métodos para cartografiar la evapotranspiración como interpolación de datos puntuales por distancia inversa ponderada González y Gagua (1979); Ramírez (1989); Solano et al. (2003) y métodos probabilísticos o geoestadísticos como el método del Kriging Hernández et al. (2001); Zamora-Herrera y Chaterlán-Durruty (2001); Chaterlán-Durruty et al. (2002); González et al. (2004); Méndez et al. (2008), los resultados en general siguen los patrones presentados por este trabajo.

CONCLUSIONES

- Se presentan los primeros resultados en Cuba del procesamiento de imágenes satelitales de evapotranspiración utilizando el producto radiométrico MODIS 16.
- La información generada es el punto de partida para realizar una programación del riego y la vía para iniciar el pronóstico de riego y monitorear la situación hídrica de los cultivos.
- Se establecen las premisas para establecer mecanismos de diálogo entre los agricultores para que puedan tomar mejores decisiones respecto a la gestión de regadío de sus cultivos.
- La introducción de estas tecnologías va a tener un impacto en ahorro de recursos hídricos, energéticos y contribuir a la sostenibilidad del uso y manejo de los recursos hídricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIYAMA, K.; ALBERDI, A.; ALEF, W.; ALGABA, J.C.; ANANTUA, R.; ASADA, K.; AZULAY, R.; BACH, U.; BACZKO, A.K.; BALL, D.: "First Sagittarius A* event horizon telescope results. II. EHT and multiwavelength observations, data processing, and calibration", *The Astrophysical Journal Letters*, 930(2): L13, Publisher: IOP Publishing, 2022, ISSN: 2041-8205.
- BANCO MUNDIAL: *Uso de satélites para monitorear los avances de los ODS, [en línea]*, Inst. Comité de Expertos sobre la Gestión Mundial de la Información Geoespacial de la ONU (UN-GGIM), 2017, Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2017/08/23/using-satellites-to-monitor-progress-toward-the-sdgs>.
- BRUST, C.; KIMBALL, J.; MANETA, M.; JENCOSO, K.; HE, M.; REICHLE, R.: *Using SMAP Level-4 Soil Moisture to Constrain Evapotranspiration Over the Contiguous USA*, Remote Sensing of Environment, In Press, 2020.
- BRUST, C.; KIMBALL, J.S.; MANETA, M.P.; JENCOSO, K.; HE, M.; REICHLE, R.H.: "Using SMAP Level-4 soil moisture to constrain MOD16 evapotranspiration over the contiguous USA", *Remote Sensing of Environment*, 255: 112277, 2021, ISSN: 0034-4257.
- CEPAL, N.: "Recomendaciones para la generación de estadísticas e indicadores ambientales con información geoespacial y el uso de fuentes no convencionales. Grupo de Trabajo CEA CEPAL 2020-2021", 2021.
- CHATERLÁN-DURRUTHY, Y.; ZAMORA-HERRERA, E.; LÓPEZ, G.: "Distribución espacial de la evapotranspiración de referencia en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(1): 67-70, Publisher: Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, 2002, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- CISNEROS, Z.E.; LÓPEZ, S.T.; GUERRERO, P.; BONET, P.C.: *Hoja de cálculo en EXCEL para la programación del riego titulada "Hoja de pronóstico"*, Inst. Instituto de Inv. de Riego y Drenaje, Hoja de cálculo, La Habana, Cuba, 2007.
- CISNEROS-ZAYAS, Z.E.; MÉNDEZ, M.; CHONG, C.: "Nuevos enfoques sobre el riego por aspersión de baja intensidad en la agricultura cubana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(3): 17-20, Publisher: Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, 2004, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- FRĄCKIEWICZ, M.: *El papel de los satélites en el apoyo a los objetivos de desarrollo internacional, [en línea]*, 2023, Disponible en: <https://ts2.space/es/el-papel-de-los-satelites-en-el-apoyo-a-los-objetivos-de-desarrollo-internacional/>.
- FUNES-MONZOTE, F.: "La agricultura cubana en camino a la sostenibilidad", *Leisa*, 7: 21-23, 2001.
- GEE: *Google Earth Engine (GEE), [en línea]*, 2023, Disponible en: <https://earthengine.google.com/>.
- GONZÁLEZ, E.; GAGUA, G.: "Nuevo estudio sobre la evaporación en Cuba", *Voluntad Hidráulica*, 51: 23-34, 1979.
- GONZÁLEZ, F.; LÓPEZ, T.; VÁZQUEZ, R.: "Caracterización de la variabilidad espacial de la evapotranspiración para estudios regionales de manejo de recursos hídricos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(2): 47-49, Publisher: Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, 2004, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- HERNÁNDEZ, G.; CABRERA, R.M.; LEÓN, M.M.; ZAMORA, E.: "Distribución espacial de las necesidades del agua para el cultivo del tomate", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10(3): 77-80, Publisher: Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, 2001, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- IPF-PMA, CUBA: *Análisis y Cartografía de la Vulnerabilidad a la Inseguridad Alimentaria en Cuba*, Ed. Representación del Programa Mundial de Alimentos en Cuba, La Habana, Cuba, 56-59 p., 2001.
- JIMÉNEZ, G.: *API desarrollada en JavaScript, [en línea]*, 2022, Disponible en: <https://www.hidraulicafacil.com/p/extension-hf-riego.html>.
- MÉNDEZ, J.A.: *Contribución metodológica para la estimación de la evapotranspiración de referencia mediante técnicas de teledetección espacial y redes neuronales artificiales*, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor

- en Ciencias Técnicas Agropecuarias, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, 141 p., 2011.
- MÉNDEZ, J.A.; SOLANO, O.; RUISECO, D.; GONZÁLEZ, F.: “Análisis espacio-temporal de la evapotranspiración de referencia ETo en Cuba”, 26(1): Publisher: Jornal SELPER International. Sociedad Latino Americana de Percepción Remota Satelital. Editorial SELPER PRODITEL. Universidad Nacional de Lujan. Buenos Aires Argentina, 2008, ISSN: 0717-2915.
- MODIS: *MODIS/Terra Net Evapotranspiración 8-Day L4 Global 500 m SIN Grid, [en línea]*, 2023a, Disponible en: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2v006/>.
- MODIS: *MODIS/Terra Net Evapotranspiración 8-Day L4 Global 500 m SIN Grid, Validación, [en línea]*, 2023b, Disponible en: https://lpdaac.usgs.gov/documents/494/MOD16_User_Guide_V6.pdf, 2023.
- OBASI, G.O.: “El papel de la OMM y de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales en apoyo del desarrollo sostenible”, : Publisher: Organización Meteorológica Mundial, 2003, ISSN: 0250-6025.
- PAVÓ-ACOSTA, R.; HECHAVARRÍA-RIVERA, O.: “Las mejoras o bienhechurías; nociones en la doctrina y su régimen jurídico en el ámbito del usufructo agrario en Cuba”, *Revista Internacional Consinter de Direito*, : 179-179, 2023, ISSN: 2183-9522.
- RAMÍREZ, E.: “La distribución de la evapotranspiración de referencia en Cuba”, *Ciencia y Técnica en la agricultura. Riego y Drenaje*, 12(1): 85-92, 1989.
- SIERRA, J.: *Camino hacia una nueva ley de tierras para Cuba*, 2023.
- SOLANO, O.; MENÉNDEZ, C.; VÁZQUEZ, R.; MENÉNDEZ, J.: “Zonificación de la evapotranspiración de referencia en Cuba”, *Revista Cubana de Meteorología*, : Atlas Agro meteorológico de Disponibilidades Hídricas para una Agricultura de Secano, Instituto de Meteorología., 2003, ISSN: 0864-151X.
- TAVANA, M.; MINA, H.; SANTOS-ARTEAGA, F.J.: “A general Best-Worst method considering interdependency with application to innovation and technology assessment at NASA”, *Journal of Business Research*, 154: 113272, 2023, ISSN: 0148-2963.
- ZAMORA-HERRERA, E.; CHATERLÁN-DURRUTY, Y.: “Estudios sobre evapotranspiración de referencia en Cuba”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10(3): 87-90, Publisher: Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, 2001, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.

Alberto Méndez-Jocik, Especialista Principal de Diseño, Ingeniería y Consultoría. Empresa de Proyectos Ingeniería, Boyeros y Conill, Edificio MINAG, Piso 10, Municipio Plaza, La Habana, Cuba. e-mail: joc4263@gmail.com.

Pável Vargas-Rodríguez, Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Universidad de Oriente., Santiago de Cuba, e-mail: pvargas@uo.edu.cu.

Felicita González-Robaina, Dr.C., Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353, e-mail: felicita.gonzalez@iagric.minag.gob.cu.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses

AUTHOR CONTRIBUTIONS: Conceptualization: A. Méndez. **Data curation:** A. Méndez. **Formal analysis:** A. Méndez, P. Vargas. **Investigation:** A. Méndez, P. Vargas. **Methodology:** A. Méndez, P. Vargas, **Software:** A. Méndez, P. Vargas. **Supervision:** A. Méndez, F. González. **Validation:** A. Méndez, P. Vargas. **Writing-original draft:** A. Méndez, P. Vargas. **Writing-review & editing:** A. Méndez, P. Vargas, F. González.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.